PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number:

2001-308464

(43) Date of publication of application: 02.11.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/323 C30B 29/38 H01L 21/205

(21)Application number: 2000-128192

(71)Applicant: NEC CORP

(22)Date of filing:

27.04.2000

(72)Inventor: USUI AKIRA

SUNAKAWA HARUO

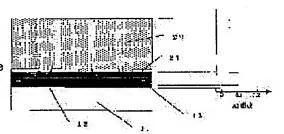
MATSUMOTO YOSHINARI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT, METHOD FOR MANUFACTURING NITRIDE SEMICONDUCTOR CRYSTAL, AND NITRIDE SEMICONDUCTOR SUBSTRATE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form an AlGaN layer having such a thickness that the layer can sufficiently function as a crystal growing base layer with a low defect density.

SOLUTION: A first AlGaN layer 13 is formed on a sapphire substrate 11 through a low-temperature buffer layer 12. Then a second AlGaN layer 14 containing Al at a concentration lower than that of the first AlGaN laver 13 is formed on the layer 13. The layer 14 is grown while a facet structure is formed from the opening of a mask 21. The thickness of the layer 14 is adjusted to $\geq 5 \mu m$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of

08.09.2004

rejection

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3642001

[Date of registration]

04.02.2005

[Number of appeal against examiner's decision

2004-21017

of rejection]

(19) 日本国特許庁 (JP)

許公報(A) (2) 公開特

特開2001-308464 (P2001-308464A) (11) 特許出願公開番号

(43)公開日 平成13年11月2日(2001.11.2)

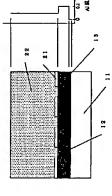
(51) IntCl.7		戴別記号	FI		11	デーパント"(参考)
H ₀ 1S	5/323		H01S	5/323		4G077
C30B	28/38		C30B	29/38	А	5F045
					ပ	5F073
H01L 21/205	21/205		H01L 21/205	21/205		

(全13 页) 讃求項の数12 OL 審查請求 右

(21)出顧各日 特國2000—128192(P2000—128192) (71)出國名 (71)出國日 平成12年4月27日(2000.4.27) (72)発明者 磁井 彰 東京都在芝五丁目7番1号 京会社均 (72)発明者 砂川 晴夫 東京会社均 (72)発明者 砂川 晴夫 東京会社均 (72)発明者 砂川 晴夫 東京会社均 (72)発明者 砂川 明夫 東京会社均 (72)発明者 砂川 明夫 東京会社均 (74)代理人 10008323 非理士 金田 爛之 (外2名) 50				
平成12年4月27日(2000.4.27) (72)発明者 (72)発明者 (72)発明者 (72)発明者	(21) 出國番号	特國2000—128192(P2000—128192)	丫頭用(11)	000004237
平成12年4月27日(2000.4.27) (72)発明者 (72)発明者 (72)発明者 (72)発明者				日本電気株式会社
	(22) 出版日	平成12年4月27日(2000.4.27)		東京都港区芝五丁目7番1号
			(72) 発明者	磁井 秋
				東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気
				式会社内
東京都改芝五丁目7番1号 式会社内 (74)代理人 100088328			(72) 発明者	砂川 晴夫
田 章之 (外24				東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気
田 職之 (外24				式会社内
G+24			(74)代理人	100088328
ıg				井理士 金田 暢之 (外2名)
191				
Light Control of the				
				品格 頁[2]

(54) 【発明の名称】 空化物半導体森子、空化物半導体結晶の作製方法および空化物半導体基板

層14は、マスク21の閉口部からファセット構造を形 【課題】結晶成長下地層として充分に機能する程度の厚 層12を介して第一のA1GaN層13を形成する。さ らにこの上に、第一のAIGaN層13よりも低いAI 組成の第二のA1GaN層14を形成する。A1GaN 【解決手段】 サファイア 基板 1.1 上に、低温パッファー みを有する低欠陥密度のAIGaN層を形成すること。 成させながら成長させる。膜厚は5μm以上とする。



[特許請求の範囲]

菌を介して形成された、窒化物半導体からなる面内平均 上部に、茶子領域を構成する窒化物半導体層が形成され a の第一の単結晶層と、この上に直接、または表面保護 格子定数b (b>a)の層厚5μm以上の第二の単結晶 因と、からなる歪み緩和領域を備え、該歪み緩和領域の 【請求項1】 窒化物半導体からなる面内平均格子定数 たことを特徴とする窒化物半導体素子。

第一の単結品層と、この上に直接、または表面保護層を 和領域を備え、該歪み緩和領域の上部に、素子領域を構 介して形成された層厚5 u m以上のA 1vG a 1-v N (0 <y<x)からなる第二の単結晶層と、からなる歪み殺</p> 【請求項2】 AlxGal-xN (0<x<1) からなる 成する窒化物半導体層が形成されたことを特徴とする窒 化物半導体素子。 【請求項3】 前記案子領域が、A1GaNクラッド層 と活性層とを含むことを特徴とする請求項2に記載の窓 化粒半導存採子。

搽

茶

第二の単結晶層の厚みをd1 (μm) としたときに、下 b+ (...) 【請求項4】 第一の単結晶層の厚みをd1 (μm) 記式 (1)

20

を満たすことを特徴とする請求項2または3に記載の窒 $(x-y) \times d_1 \times d_2 > 0.$ 1 化物半導体素子。

[0002]

あることを特徴とする請求項1乃至4いずれかに記載の 【請求項5】 第二の単結晶層の厚みが30 mm以上で 蛮化物半導体茶子。

が

接、または表面保護層を介して、複数の開口部を有する として、ファセット構造を形成しながらA1vGa1-vN マスクを形成する工程と、前記複数の開口部を成長領域 からなる第一の単結晶層を形成する工程と、この上に直 (0 < y < x) 結晶を気相成長させ、層厚5 μm以上の 第二の単結晶層を形成する工程と、を有することを特徴 【請求項6】 基板上にA1xGa1-xN (0<x<1) とする窒化物半導体結晶の作製方法。

届の上に複数のストライプ状間口部を有するマスクを形 接、または表面保護層を介して、A 1, G a 1-, N (0 < からなる第一の単結晶層を形成する工程と、この上に直 y < x)からなる種結晶層を形成する工程と、該種結晶 晶を気相成長させ、層厚5μm以上のAlyGal-yNか らなる第二の単結晶層を形成する工程と、を有すること [請求項7] 基板上にAlrGal-xN (0<x<1) 1-, N層を起点としてA1,Ga1-,N (0<y<x) 結 成した後、エッチングを行い、ストライプ状A 1vGa 1-, N層を形成する工程と、該ストライプ状A1, G a を特徴とする窒化物半導体結晶の作製方法。

み、素子形成面全体の平均結晶欠陥密度が1×10⁷c 【請求項8】 層厚40μm以上のA1GaN層を含 m-2以下であることを特徴とする窒化物半導体基板。

特開2001-308464

3

第一の単結晶層と、この上に直接、または表面保護層を 介して形成された層厚5 μ m 以上の A 1, G a 1-, N (0 <y<x)からなる第二の単結晶層と、からなる歪み緩</p> 和領域を含むことを特徴とする請求項8に記載の窒化物 半導作基板。

第二の単結晶層の厚みが30μm以上 であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物半導体 [請求項10] 基板。

m)、第二の単結晶層の $\bar{\mu}$ みを d_2 (μ m) としたとき 【請求項11】 第一の単結晶層の厚みをd1 (μ E, 下記式 (1) 01

を満たすことを特徴とする請求項9または10に記載の $(x-y) \times d_1 \times d_2 > 0$. 验化物半導体基板。 【請水項12】 素子形成面と反対側の面が、窒化物半 導体からなることを特徴とする請求項9乃至11いずれ かに記載の窒化物半導体基板。

[発明の詳細な説明]

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶欠陥の少ない 窒化物半導体素子、窒化物半導体基板、およびその作製 技術に関するものである。 0001

きく、パンド問題移も直接遷移型であるため、短波長発 光素子への適用が盛んに検討されている。また、電子の **他和ドリフト速度が大きいこと、ヘデロ接合による2次** 元キャリアガスの利用が可能なこと等から、電子素子へ 【従来の技術】窒化物半導体材料は、禁制帯幅が充分大 の応用も期待されている。

は、有機金属気相成長法(MOVPE)、分子線気相成 等の気相成長法を用いて下地基板上にエピタキシャル成 長を行うことにより得られる。ところが、この盗化物半 め、良質の成長層を得ることが困難であり、得られる窒 化物半導体層中には多くの結晶欠陥が含まれていた。こ の結晶欠陥は、素子特性の向上を阻害する要因となるこ とから、これまで、笠化物半導体層中の結晶欠陥を低減 長法 (MBE)、ハイドライド気相成長法 (HVPE) 【0003】これらの表子を構成する窒化物半導体層 導体層と格子定数の整合する下地基板が存在しないた 40 30

系結晶を得るための方法として、サファイア等の異種基 板上に低温堆積緩衝層(バッファ層)を形成し、その上 5。「応用物理(第68巻、第7号(1999)、第7 68~773頁)」には、低温堆積緩衝層を用いた結晶 る。まず、サファイア等基板上にAINまたはGaNを 500℃付近で堆積し、アモルファス状の膜ないし一部 多結晶を含む連続膜を形成する。これを、1000℃付近に [0004] 結晶欠陥の比較的少ない111族元素窒化物 にエピタキシャル成長局を形成する方法が知られてい **成長法の例として以下のようなプロセスが示されてい** する検討が盛んに行われてきた。

20

[請求項9] AlxGal-xN (0<x<1) からなる

特開2001-308464

も、上記文献に記載されているように、黄通転位や空孔 昇温することで一部を蒸発させ、また結晶化することで 密度の高い結晶核を形成する。これを成長の核として比 し、現在望まれているような高性能の深子を得るには不 **較的結晶のよいGaN膜が得られると記載されている。し** パイプなどの結晶欠陥が10°~1011cm-2程度存在 かしながら、低温堆積緩衝層を形成する方法を用いて

GaN層を用い、この上に素子部を構成する半導体多層 【0005】そこで、結晶成長用の下地層として厚膜の 英を形成する手法が盛んに検討されている。

2

たと記載されているが、このような結晶欠陥の低い領域 N基板が得られたとされている。しかしながら、ELO 密度を低減することが困難であった。 ELOでは、マス クの関ロ部からGaNが横方向に選択成長する。マスク の形成されている領域では転位が上部に進行することが 【0006】結晶中の転位の少ないGaN下地層を形成 th) 技術が知られている。特開平11-251253号 へ表面近傍の結晶欠陥が1×105個/cm2以下のGa を用いた場合、ウェーハ表面の全面にわたって結晶欠陥 のまま引き継がれ、その上部の領域では多くの貫通転位 を含む構造となる。したがって、ELOによる結晶成長 面の全面にわたって結晶欠陥を低減させることは困難で **あった。上記公穀の実施例には、表面近傍の結晶欠陥密** 71 1997 pp. 2472-2474」には、SiOzマスク上では、ほと する手法として、ELO (Epitaxial Lateral Overgrow **方、貫通転位の多い領域も同時に形成され、ウェーハ表** が形成される一方、多数の結晶欠陥を含む領域も同時に んど転位が観察されないが、マスク閉口部では109~109 妨げられるのであるが、関ロ部では下地層から転位がそ 形成される。実際に「Applied Physics Letter Volume **公報では、このELO技術を用いることにより、ウェー** 度をTEMにより複祭したところ1×104以下であっ では、たしかに結晶欠陥の少ない部分が形成される一 cm-2の転位が観察されることが報告されている。

的少ない良質のGaN基板を得ることができ、これを利 用することにより、従來よりも優れた性能の発光素子を 【0007】一方、本発明者らは、EL〇の手法をさら 理」 (第68巻、第7号、1999年、第714頁~第 択成長を行う点でELOと共通するが、その際、マスク その後下地基板を除去することにより、結晶欠陥の比較 779頁))。この技術は、SiO2マスクを用いて選 開口部にファセットを形成する点で相違している。ファ エピタキシャル成長層の上部に至る貫通転位を低減する ものである。この方法を用いることにより、たとえばサ に発展させたFIELO (Facet-Initiated Epitaxial ファイア等の下地基板上に厚膜のGaNMを成長させ、 Lateral Overgrowth) 技術を開発している (「応用物 セットを形成することにより、転位の伝拠方向を変え

4

傾斜させ、これによりSiCとGaNの格子定数差を徐 についての具体的構成として、単一層で組成傾斜した構 m, Alo.8Gao.2N層O. 2 mm, Alo.1Gao.3N 10.1G a 0.9N層 0. 2 μ m の順に積層された 9 層から 開示されている。SiCはAINとほぼ同じ格子定数を る。上記公報記載の技術は、この格子定数の関係を考慮 して窒化物半導体層の結晶性を改善するものである。下 地基板としてSiCを用い、その上部にGaN層を形成 と、両者の界面における格子定数差が大きいため、結晶 欠陥が発生する。そこで、上記公報では、SiC側から G a N側に向けてA 1 組成が徐々に低くなるように組成 々に緩和させている。AlrGal-rN (0≤x≤1) 層 層0.2 mm、…、A10.1Ca0.8N層0.2 mm、A なる多層膜の構成が示されている。このように組成傾斜 したAIGaN層を形成することにより、この上に形成 する窒化物半導体層の結晶性を良好にし、発光出力の高 たA 1xG a1-xN (0≦x≦1) 層を成長させる構成が SiC基板上に×値が順次小さくなるように組成傾斜し [0008]また、特開平9-83016号公報には、 成が示されているほか、A 10.9G ao.1N層0.2 μ 有し、GaNは、これらよりも大きい格子定数を有す する場合において、SIC上に直接GaNを形成する い素子を実現できると記載されている。

両者の格子定数差に起因して生じる歪みを分散させ、歪 【0009】この技術は、SiC基板とGaN層との問 を、格子定数がほぼ連続的に変化するようにすることで み集中箇所を解消することにより結晶性を向上させるも のである。具体的構成として、SiCとA1GaNの格 子定数が近いことを利用し、組成傾斜層の最下層を高A た場合に有効な技術なのであって、サファイア等の他の 異種基板に適用することは困難である。このような異種 基板に適用した場合、組成傾斜層の最下層と異種基板と の界面で格子定数の大きく異なる結晶系が隣接すること となり、結晶欠陥が多数発生する。この結晶欠陥は、そ AINとほぼ同一の格子定数を有するSiC基板を用い 1組成の層を配置している。したがって、この技術は、 のまま上層に引き継がれるため、組成傾斜層の最上層 は、結晶欠陥を多数含んだ構造となる。

板とGaN層の格子定数差に起因して生じる歪みを層構 ア等を用いた場合は格子定数並がさらに大きくなり、歪 より格子定数をほぼ連続的に変化させることによって基 造中に分散させるものであるが、歪みエネルギーそのも のの総和を減少させるものではない。したがって、結晶 欠陥の低減には一定の限界があり、現在望まれているよ うな水準まで結晶欠陥を低減することは困難である。ま た、SiCを用いた場合はGaNやAIGaNとの格子 みエネルギー自体が大きくなるため、層構造中に歪みエ ネルギーを分散させたとしても充分な結晶欠陥の低減を 定数益が小さく一定の効果が得られるものの、サファイ 【0010】また、上記公報記載の技術は、組成傾斜に 20

実現することは困難である。

従来技術においては、下地基板の表面全体にわたる結晶 は、結晶成長の下地となる基板乃至下地層の結晶欠陥を さらに低減することが望まれているが、上記のように、 【0011】 高性能の窒化物半導体素子を得るために 欠陥を低減することは困難であった。

うにすることによって半導体レーザの閾値をさらに低減 して長寿命化を図り、高出力化、レーザビームスポット 【0012】一方、窒化物半導体を用いた半導体レーザ においては、光閉じ込め率の向上を図る観点からクラッ ド層の低屈折率化および厚膜化が望まれている。このよ 形状の監形、温度特性の向上を実現することが可能とな

ームの遠視野像の多スポット化の解消が重要な技術的誤 ことに起囚するものであり、ここでもクラッド層の低屈 所奉化および厚膜化による光閉じ込め率の向上が強く望 【0013】また、たとえばデジタル・ビデオ・デイス ク(DVD)用途の半導体アーザにおいては、レーザビ **題となっている。この現象も光閉じ込め効果が不充分な** まれている。

下地層とA1GaN層との間の格子定数の差および熱膨 有効である。ところが、このようにした場合、結晶成長 常、AIGaN超が採用されており、光別じ込め効果を **模厚を厚くしてクラッド層の屈折率を向上させることが** 張係数の差に起因してクラッド層にクラックが入りやす くなり、この結果、光閉じ込め効果がかえって低下すす 向上させるには、このAIGaN婦のA1組成を高く、 【0014】 塗化物半導体レーザのクラッド層は、通 ばかりか、ボ子荘命の低下等をもたらすこととなる。

【0015】このようなことから、窒化物半導体素子の 層の格子定数を小さくした場合、その上部に格子定数の 一般に、圧縮モードの残留歪みを有する構造体は、引っ 強度を示す (このことは、いわゆるマシューズの式によ すなわち、A1組成の高い材料を用いることが有利とな る。下地層の格子定数を大きくした場合、その上部に格 子定数の小さい層を配置すると、その層に引っ張り歪み が生じクラックが発生しやすくなる。これに対し、下地 張りモードの残留歪みを有する構造体に比べてより高い り知られている)ことから、下地層として格子定数の小 さい材料を用いれば、上層の強度を改善することができ 大きい層を配置すると、その層には圧縮歪みが生じる。 設計においては、下地層として格子定数の小さい材料、

この結果、上部半導体層中には、圧縮歪み、または、比 より、上部半導体層中のクラック発生が有効に防止され 紋的小さい引っ張りひずみが生じることとなる。これに 従来のGaNに代え、AIGaNを用いれば、上部に形 【0016】そこで、結晶成長用の下地層材料として、 成される半導体層と下地層とのA1組成差が低減され、

【0017】A1GaN下地層を得るための方法として は、従来、

の基板に低温バッファ層を形成した後、その の低温パッファ層の上に直接A1GaN層を形成する方 上にG a N層を介してA 1 G a N層を形成する方法と、

Wを介してAIGaN屋を形成する場合は、GaNの上 た。また、クラックを生じさせないでAIGaN層を成 及できたとしても、層中に多くの結晶欠陥が含まれた構 造となり、菜子性能向上の阻害要因となる上、結晶成長 後の工程や素子使用時においてクラックが発生する原因 【0018】まず上記①の方法について述べる。GaN にそれより格子定数の小さいA1GaN層を形成するこ 下地のGaNに較べてA1GaNの格子定数がかなり小 さいため (例えばSemiconductors and Semimetals Vol4 G. B. Stringfellowand M. George Craford, 1997 by A o張り盃みが生じるからである。この歪みは、AI組成と 度となる。また、AIGaN層の厚みが増すにつれ歪み での歪量と層厚の積がほぼ一定値を超えると急激に増加 する。従来技術においては、クラックを生じさせないで 100 mm以上にも及ぶ厚版のAlGaNの成長は不可能であっ 8 "High Brightness Light Emitting diodes" ed. by ともに増大し、例えば、Alo. 07Gao. 93N層では0.17%程 が増大する。このことから、クラック発生は、AlGaN場 成長できるAlGaNの厚さは、せいぜい数 um程度であり、 ととなり、膜厚を厚くするとクラックが発生しやすい。 cademic PressのChap.1, Fig.1に記載)、AlGaNには引

るためには、AIGaN屋の販厚、AI組成に一定の制 約が謀せられる。「Appl. Phys. Letts. Vol. 75, No. 19, pp2 960-2962」には、基板上に設けられた低温バッファ層上 に厚さ3 mmのA 10.03 G a 0.91 N層を形成し、その上 部に厚さ1 μmのA 10.06Ga0.94Nクラッド届を形成 した盆化物半導体レーザが示されている。このような構 造とすることにより、遠視野像での多スポット化が抑制 【0019】次に前記した〇の方法、すなわち、低温バ ッファ屋の上に直接AIGaN層を形成する方法につい て述べる。この場合においても、クラック発生を防止す されることが記載されている。

[0020] 上記公報記載の技術は、A1組成の低い項 膜のA1GaN層の上にA1組成の高いA1GaNクラ ッド層を形成し、これらのAIGaNからなる層の作用 により光間じ込め効果を増大させるものである。Alo.03 よる歪みの大きさは0.07%程度であり、この結果クラッ を採用してもクラックフリーで100㎡以上にも及ぶ厚膜 この構造では、クラッド層のアルミ組成や膜厚をさらに 増大させることは非常に困難であり、クラッド層の屈折 Gao. 97N婦とAlo. o6Gao. 94Nクラッド層とのA1組成遊に 本発明者らの実験によれば、このような二段AlGaN構造 クが生じにくくなると考えられている。しかしながら、 のAlGaNの成長は困難であることが確認された。また、

20

-3

得ることができる。

母向上にも一定の制限があった。

[0021]以上のように、従来技術においては、下地 層としての機能を発揮する程度の匹勝のA1GaN層 を、クラックを発生させることなく形成することは困難

[0022]

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、現在、素子の高性能化の観点から、窒化物半導体結晶を成長させるための下地層(代表的には下地基板)に関し、暗仏密度の更なる低減が望まれている。

[0023]また、窒化物半導体を用いた半導体レーザ等の発光素子においては、光閉じ込め率向上のため高A 1組成・大膜厚のAlGaNグラッド層を実現することが求められており、このようなグラッド層をグラッを 発生させることなく作数するため、結晶下準層をAlGaNにより構成することが結算まれている。また、高品質のAlGaN下準層が表現できれば、その上に形成される。非本体多層膜の材料の選択の幅が増すことから、電子素子においても有用である。

[0024]以上のように、囚安面欠陥密度が低く、かつ、②比較的AI組成の高い厚膜のAIGaN下地隔を得ることができれば、従来にない高性能の素子を作製することが可能となる。具体的には、レーザのクラッド層として利組成のより高い局構造を成長させることができ、その結果電子・光の閉じ込めが改善され、恒波長レーザの特性向上を達成できる。また、電子素子への応用は、結644高低抗基板の実現による高周波特性の改善、基板への電子流れの抑制などによるデバイス性能の大幅な向上が排符できる。

【のの25】本発明は、上記事情に鑑みなされたものであり、低欠陥密度で、クラック発生が有効に防止され、下地基板を除去して単模としても使用可能な程度の充分な厚さを有するAIGaN層を形成するための技術を提供することを目的とする。

[0026]

【誤題を解決するための手段】本発明によれば、窒化物半導体からなる面内平均格子定数 a の第一の単結晶層と、この上に直接、または表面保護層を介して形成された、窒化物半導体からなる面均平均格子定数 b (b > a) の層厚 5 μ m 以上の第二の単結晶層と、からなる② 40 み級和領域を備え、該至み級和領域の上部に、素子領域を構成する窒化物半導体層が形成されたことを特徴とする窒化物半導体率を、が提供される。

[0027] 面内平均格子定数とは、第一または第二の単結品優の層厚方向と垂近な平面内における格子定数の平均値をいう。たとえばサファイア。面に成長させたAIGaN屋を第一の単結晶層とした場合、3 軸の格子定数が面内平均格子定数となる。なお、第一の単結晶層が 属厚方向に組成変化している場合は、格子定数の平均値は、面内平均格子定数を層圧方向に平均した値を意味す

ものとする。

[0028]また本発明によれば、A1rGa1-xN(0 <x<1)からなる第一の単結晶層と、この上に直接、 または表面保護局を介して形成された局厚5μm以上の A1rGa1-yN(0<y<x)からなる第二の単結晶層 と、からなる孟み緩和領域を備え、核霊み緩和領域の上 部に、素子領域を構成する窒化物半導体層が形成された ことを特徴とする窒化物半導体素子、が提供される。

【0029】従来技術の項で説明したように、基板上に AIG a N層を成長させる方法として、包基板に低温ペッフア層を形成した後、その上にG a N層を介して AIG a N層を形成する方法と、②低温ペッファ属の上に直接 AIG a N局を形成する方法が行われていた。このうち①の方法では、格子定数の関係で AIG a N局に引っ張り至みが生じ、クラックが発生しやすい。また、②の方法では、低温ペッファ層の上に直接形成された AIG a N層中に多くの欠陥が発生し、これがその上部に形成される結晶構造に引き糕がれ、良質の結晶成長層を得ることが困難となる。

【のの30】このような課題に対し、本発明の盆化物学 専体素子は、盗み設和領域を設けることにより課題解決 を回っている 【0031】本発明の窒化物半導体素子における歪み緩 和領域は、第一の単結晶層の上に、これよりも面内平均 格子定数の大きい第二の単結晶層が積層された構造となっている。また第二の単結晶層を5μm以上としてい

る。このため、以下のような作用効果を奏する。 【0032】第一の効果として、第一の単結晶協が緩縮 届として機能するため、第二の単結晶層上に形成される 恭子領域を構成する窒化物半導体層の歪みを顕著に低数

不整合は14%程度と非常に大きいため、窒化物半導体 歪みが蓄積される。これは、第一の単結晶層中に多くの 結晶欠陥が含まれ得ること、および、第一および第二の 単結晶層との界面にミスフィット転位が発生することに より、素子領域を構成する窒化物半導体層が基板から受 ける束縛力が弱まるためである。したがって、窒化物半 【0033】従来の半導体レーザにおいては、LD構造 を構成するクラッド層、活性層等は、サファイア基板結 晶による束縛力を受け、基板結晶との格子定数および熱 **彫張係数の並に応じて至みが蓄積される。これは、サフ** 基板の結晶構造に追随するように形成されていくことに よる。ここで、サファイア基板と窒化物半導体との格子 中の内在歪みは大きな値となる。一方、本発明の盜化物 半導体素子においては、素子領域を構成する窒化物半導 体配は、基板ではなく、主として第二の単結晶層による 束縛力を受け、茶子領域を構成する半導体層には、第二 の単結晶層との格子定数および熱膨張係数の差に応じた 導体層との格子定数差等が小さくなるよう、適宜に第二 アイア基板の厚みが厚いため、基板上の各半導体層が、

の単結晶層を選択すれば、窒化物半導体中の内在歪みを 効果的に低減できるのである。

のため、第一の単結晶層を、歪みエネルギーを開放する ることが有効である。厚膜の第二の単結晶層中で転位同 一部の転位はそのまま第二の単結晶層に伝数する。この 士がぶつかって消滅したり、転位の伝数方向が基板と平 る転位が大幅に低減されるからである。この効果は、層 成長方法として、ファセット構造を形成しつの超成長を 行うFIELOを採用した場合、一層顕著となる。以上 【0034】第二の効果として、第一および第二の単結 **昌屋の界面にミスフィット転位が発生するため、これに** より第一の単結晶層に内在する欠陥が第二の単結晶層に 伝設することを防止できる。上記界面には、格子不整合 このミスフィット転位は、第一の単結晶層から上方に向 かって伝版する転位の進行を遮断する役割を果たす。こ べく多くの結晶欠陥を含む構成としても、この結晶欠陥 m以上の厚膜で形成されているため、第二の単結晶層中 転位を消滅させるには、第二の単結晶層の厚みを厚くす 行な方向に変化するため、第二の単結晶層表面に貫通す のように、本発明においては第二の単結晶層の厚みを一 定以上の値とすることが重要であり、5 μ m 以上、好ま しくは30μm以上、より好ましくは100μm以上と 【0035】第三の効果として、第二の単結晶層が5μ に起因して界面に沿ってミスフィット転位が発生する。 が第二の単結晶層に伝搬することが有効に防止される。 る。上述したように第一の単結晶層からの転位の伝版 は、ミスフィット転位により遮断されることとなるが、 で転位が消滅し、表面転位密度を低減することができ

[0036]第四の効果として、第二の単結晶局の電みが圧縮モードとなり、第二の単結晶局の結晶大路を大幅に低減できる。したがって、この上に森子領域を構成する半導体層を形成した場合、結晶大路の少ない半導体層が得られ、従来にない商品質の発光素子、電子素子を実現することが可能となる。また、圧縮電みがかかることにより、クラックを発生させることなく第二の単結晶層の厚みを増大させることができ、上記したように、第二の単結晶層を返加に其通する転位を大幅に低減できる。

[0037] ここで、高41組成の41GaN層の上に低41組成の41GaN層を形成する技術に関しては、依末技術の項で説明したように、特別平9-83016号公報に開示がある。以下、本発明の特徴を明確にするため、この従来技術との差異について説明する。

【0038】上記公報記載の技術は、SIC基仮とGaNGとの間に組成債料届を設け、格子定数がほぼ連続的に変化するようにすることで、両者の格子定数益に起因して生じる至みを分散させ、至み集中箇所を解消することにより結晶性を向上させるものである。このような目的のため、組成傾斜層は、連続的に組成が変化する層、あるいは、膜厚0.2μn程度の薄膜が積積量されてなる

多層構造としている。このようにすることによって、歪み集中箇所の発生を防止している。これに対し本発明は、第一の届と第二の届の間に歪み集中箇所を貧屋的に導入し、ここにミスフィット転位を生じさせている。このミスフィット転位は、第一の届から第二の届への転位 伝版を抑制する上、歪みエネルギーを開放する機能を有している。このようなミスフィット転位を導入するた

特別2001-308464

9

め、第二の屋の厚みを5ヵm以上としている。5ヵm未 浴では、上記転位伝磁抑制機能、および塞みエネルギー 関放機能が発現する程度にミスフィット転位を発生させることが困難となる。また、第二の屋の厚みを5ヵm以上とすることにより、第二の単結晶隔中で転位同士があっかって消滅したり、第二の単結晶隔井面に貫通する転位向に変化するため、第二の単結晶局表面に貫通する転位が大幅に低減するという効果も得られる。

[0039]以上のように、上記公報記載の技術では、 基板と盆化物半導体局との間に生じる歪みエネルギーを 組成傾斜属に分散させるものである。一方、本発明は、 第一の届中の結晶欠陥およびミスフィット特値により至 みを開放し、歪みエネルギーそのものを低減するもので あり、より効果的に結晶欠陥れた場合

【0040】 本発明の銘化物半導体素子において、第一の単結品層の厚みをd1(μm)、第二の単結晶層の厚みをd1(μm)、第二の単結晶層の厚みをd1(μm)としたときに、下記式(1)

(x-y) ×41×41>0. 1 (1) を潜たす構成とすることが好ましい。このようにすれば 第一および第二の単結晶局の界面にミスフィット転位を 確実に発生させることができ、上述した応力緩和機能が より覚着となる。

30

茶子領域をA1GaNクラッド層と活性層とを含む構成 従来の盆化物半導体レーザにおいては、クラッド届や活 性層を含むLD構造(レーザ構造)を形成する際、異種 基板上に低温パッファ層を形成し、その上に直接、また はサブミクロン~3 mm程度の厚みのG a N層あるいは AIGaN層を介してLD構造を形成していた。このよ うな構造の場合、LD構造は異種基板の結晶構造に拘束 されることとなり、両者の格子定数、熱彫張係数の差に 起因して多くの結晶欠陥が発生する。これに対し本発明 の窒化物半導体素子では、LD構造下部に表面欠陥密度 れ、さらに、第二の単結晶層の下部に、緩衝層として機 能する第一の単結晶層が形成される。このため、第一の 単結晶層より下部の層(たとえば異種基板)がLD構造 におよぼす拘束力が弱められ、第二の単結晶層により拘 とした場合、クラッド層のA1組成や膜厚を厚くするこ 【0041】本発明の窒化物半導体素子において、第一 とができ、優れた光閉じ込め効果を得ることができる。 および第二の単結晶層をAIGaNからなるものとし、 の少ない 5 μ m以上の厚膜の第二の単結晶層が配置さ

20

束される程度が大きくなる。ここで、第二の単結晶層

20

る欠陥が低波され、この点からもLD構造の品質向上効 は、クラッド層と同様にAIGaNにより構成されてい るため、両者の格子定数差は小さく、クラッド層の歪み は大幅に低減される。また、第二の単結晶層の欠陥密度 が低いため、その上層に位置するクラッド層等に伝数す

【0042】また、本発明によれば、基板上にAlxG a1-xN (0 < x < 1) からなる第一の単結晶層を形成 する工程と、この上に直接、または表面保護層を介し

て、複数の間口部を有するマスクを形成する工程と、前 成しながらA 1,G a1-,N (0 < y < x) 結晶を気柏成 長させ、層厚5μm以上の第二の単結晶層を形成する工 程と、を有することを特徴とする窒化物半導体結晶の作 記複数の開口部を成長領域として、ファセット構造を形 製方法、が提供される。

のようなファセット構造を形成しながらAlyGai-yN たAlyGat-yN結晶が合体して、転移の伝版方向が基 【0043】この結晶成長方法における「ファセット構 造」とは、基板に対して一定の角度をもった平坦な結晶 結晶を気相成長させるため、隣接する開口部から成長し 板と平行な方向に変化し、表面転移密度の低い第二の単 第7号、1999年、第114頁~第119頁))。こ 成長面を備えた構造をいう(「応用物理」(第68巻、 結晶層が得られる。

部を有するマスクを形成した後、エッチングを行い、ス トライプ状A1,Ga゚・・,N唇を形成する工程と、該スト と、を有することを特徴とする窒化物半導体結晶の作製 (0 < y < x) 結晶を気相成長させ、層厚5 μ m以上の A1,Ga1-,Nからなる第二の単結晶層を形成する工程 A 1, G a 1-, N (0 < y < x) からなる種結晶層を形成 する工程と、該種結晶層の上に複数のストライプ状開口 ライブ状A1,Ga1-,N層を起点としてA1,Ga1-,N 1-xN (0<x<1) からなる第一の単結晶層を形成す 【0044】また本発明によれば、基板上にAlrGa る工程と、この上に直接、または表面保護層を介して、 方法、が提供される。

成できる。また、本発明では、第二の単結晶層の素子形 ることができる。具体的には、素子形成面全体の平均結 しているが、この方法によれば、30μm以上、さらに は100μm以上の厚膜としても低欠陥密度を維持する 【0045】これらの窒化物半導体結晶の作製方法によ 成団結晶欠陥密度を低くするために層厚を5 m 以上と れば、表面欠陥密度の低いAIGaN層を厚膜で形成す 晶欠陥密度が1×10⁷cm-²以下のA1GaN唇を形 ことができる。

[0046] さらに本発明によれば、層厚40 m以上 のA1GaN層を含み、基子形成面全体の平均結晶欠陥 密度が1×10'cm-2以下であることを特徴とする窒

20 【0047】この窒化物半導体基板は、素子形成面全体 化物半導体基板、が提供される

の平均結晶欠陥密度が低く、また、層厚40μm以上の AIGaN層を含むため、その上に成長させる窒化物半 草体層の結晶欠陥を大幅に低減できる上、これらの窒化 物半導体層に内在する歪みエネルギーを効果的に低減で きる。このため、従来にない高性能の窒化物半導体素子 を作製することができる。

ことができ、半導体レーザの閾値をさらに低減して長寿 形、温度特性の向上を実現することができる。また、電 の電子溢れの抑制が図られ、デバイス性能を大幅に向上 Nクラッド層をクラックを発生させることなく作製する 命化を図り、垣出力化、ワーチピームスポット形状の粒 子素子へ適用した場合には、高周波特性の改善、基板へ 【0048】特に本発明の窒化物半導体基板を半導体レ ーザ等に適用した場合、高A1組成・大膜厚のA1Ga

2

【0049】本発明の窒化物半導体基板は、茶子形成面 全体の平均結晶欠陥密度が 1×10^{7} cm- 2 以下であ させることができる。

5。 平均結晶欠陥密度とは、素子形成面全体について測 定した結晶欠陥密度の平均値である。結晶欠陥とは、種 部の領域において、結晶欠陥が非常に少なくなる。 しか なり、本発明において規定する「素子形成面全体の平均 **々のモードの転位その他の欠陥を含むものである。EL** しながら、マスク周ロ部近傍においては結晶欠陥が多く 0を用いた手法では、マスクの設けられた領域の内の-結晶欠陥密度」は、比較的大きい値となる。

| (μm)、第二の単結晶層の厚みをd2 (μm)とした <1)からなる第一の単結晶層と、この上に直接または からなる歪み緩和領域を形成することが挙げられる。こ することが好ましい。また、第一の単結晶層の厚みをも 【0050】上記のような表子形成面全体の平均結晶欠 る。この場合、第二の単結晶層の厚みを30 m以上と 陥密度が1×101cm-2以下のAIGaN基板の具体 的実現手段として、たとえば、A1xGa1-xN (0<x 表面保護層を介して形成された層厚 5 m 町以上のA 1v の歪み緩和領域の作用については前記したとおりであ Ga1-yN (0 < y < x) からなる第二の単結晶層と、 ときに、下記式 (1)

 $(x-y) \times d_1 \times d_2 > 0.$ 1

歪み緩和効果がより顕著となり、表面欠陥密度を一層確 を満たす棒成とすることが好ましい。このようにすれば 其に低減することができる。

40

の単結晶層をAIGaN層とした場合、第一の単結晶層 [発明の実施の形態] 本発明において、第一および第二 の緩衝層としての機能をより顕著とするためには、以下 のような構成とすることが好ましい。

ヶ層の上に形成した構成とすることが有効である。低温 半導体層であり、たとえばGaN層、AIN層等が挙げ **パッファ層とは、400~700℃で成長させた窒化物** 【0052】たとえば、第一の単結晶層を、低温バッフ

8

られる。このような構成とすることにより、AIGaN からなる第一の単結晶層中に多くの結晶欠陥が含まれる こととなり、この結果、第一の単結晶層の緩衝層として の機能がより向上する。

層は、成長時に多くの欠陥を含みやすく、特に、下地層 れば、AIGaNからなる第一の単結晶層中に多くの結 としての機能がより向上する。このような高A1組成の 【0053】また、第一の単結晶層のA1組成を、好ま しくは0.04以上、より好ましくは0.07以上とす **晶欠陥が含まれることとなり、第一の単結晶層の緩衝層** が低温パッファ層である場合、欠陥の発生が顕著とな

た場合、成長時に多くの欠陥を含みやすく、特に、下地 【0054】また、第一の単結晶を一定以上の厚みとす 以上、より好ましくは0. 7μm以上とする。A1Ga 層が低温パッファ層である場合、欠陥の発生が顕著とな ることも有効である。たとえば、好ましくは0.3 μm Nからなる第一の単結晶層を、このような厚膜で形成し

【0055】以上のような構成を採用すれば、緩衝層と しての機能がより顕著となって素子領域を構成する窒化 物半導体層が異種基板等から受ける束縛力が弱まり、窒 化物半導体層中の内在歪みを一層低減できる。

【0056】本発明における第二の単結晶層は、FIE LOあるいはペンディオエピタキシにより形成すること

相成長させる方法である。隣接する開口部から成長した グし、形成された電み (これをエッチピットと呼ぶ)の 密度を光学顕微鏡、あるいは、走査型電子顕微鏡を用い 【0057】FIELOは、前述したように、複数の開 A1,Ga1-,N結晶が合体して、転移の伝数方向が基板 と平行な方向に変化し、表面転移密度の低い第二の単結 しかも転位密度の低い結晶を得ることができる。この転 位密度の分布のもっとも簡単な測定方法は、表面に転位 口部を有するマスクを形成し、閉口部を成長領域として ファセット構造を形成しながらA 1, G a 1-, N結晶を気 晶層が得られる。また、FIELOを用いて50μm以上の膜 観察される転位のマスク間口部とマスク上との極端な分 が突き出した部分を化学溶液によって選択的にエッチン **て計数することである。これによって、転位密度、およ** 厚を有する第二の単結晶層を成長させると、ELO成長で 布はなくなり、表面全体に互って転位が均一に分布し、 び分布が容易に測定できる。

【0058】また、結晶性の評価として、このエッチピ のである。この半値幅は、結晶性の改善、特に転位の削 域によって小さくなるので結晶性の評価にしばしば用い **グの半値幅が用いても囂べることができる。この半値幅** としてA成長したAlGaN結晶では、5-6分程度と広いも ットの観察の他に、二結晶法によるX線ロッキングカー は通常の手法で、サファイア基板上にGaNをバッファ層

特開2001-308464

Semicond. Res. 481, G3, 38 (1 I., MRS Internet J. Nitride 999)」に詳述されている。本発明に係る層構造の形 **战にこの方法を適用する場合、たとえば以下のような工** 【0059】ペンディオエピタキシに関しては、文献 程となる。まず、基板上にAlrGal-rN (0<x< fTsvetankas, Zheleva, ct. a

1)からなる第一の単結晶層を形成する。次いでこの上 にA1,Ga1-,N (0<y<x) からなる種結晶層を形 成する。この社結晶層の上に複数のストライプ状開口部 を有するマスクを形成した後、エッチングを行い、スト ライブ状A 1,Ga1-,N超を形成する。そして、これを 起点としてAl,Gal·,N (0<y<x) 結晶を気相成 長させ、**層厚5μm以上のAl,Gal-,Nからな**る第二 の単結晶層を形成する。 10

【0060】 本発明における第二の単結晶層は、層中で 紡たな結晶欠陥を生じさせない構造とすることが重要と なるため、層中に組成不連続面を有しないことが好まし い。すなわち、第二の単結晶層は、実質的に単一組成か らなるものか、または連続的に組成が変化するものであ ることが好ましい。第二の単結晶層中にA1組成比差が 0. 1以上となる極端な組成不連続面が形成されること は好ましくない。 転位の導入が多くなり結晶性が悪化す るからである。なお、第二の単結晶層をAIGaNから なるものとし、層中で連続的に組成を変化させた構成と する場合は、第二の単結晶層の下面と上面とのA1組成 20

1

とが好ましい。たとえば、第一の単結晶層と第二の単結 【0061】 本発明において、第一の単結晶隔と第二の 単結晶層との界面に、格子定数の不連続面を形成するこ 品屋の界面に、A1組成の不連続面を形成することが好 ましい。このようにすれば、第二のAIGaN層の結晶 欠陥がより安定的に低減される。A 1組成差は、第一お よび第二の単結晶層の層厚にもよるが、たとえば0.0 2以上とすることが好ましく、0.04以上とすること 並は、たとえばの、05以下とすることが好ましい。

30

ことも有効である。なお、本発明を半導体レーザに適用 a Nにより構成する場合、その表面に薄い膜厚の表面保 化を防止するためには、第一の単結晶層の表面A 1組成 ば、コンタクト抵抗の低減を図ることができるという利 5 等して第二の単結晶層の成長させる際、第一の単結晶 **督等が用いられ、膜厚はたとえば0.3μm以下、好ま** しくは0. 2μm以下とする。また、このような表面酸 を、第一の単結晶層全体の平均A1組成よりも低くする する場合において、上記G a N屋をコンタクト層とすれ 【0062】本発明において、第一の単結晶層をA1G 護層を設けても良い。このようにすればマスクを形成す 層の表面酸化を防止できる。表面保護層としてはG a N 点も得られる。 20 40

ම

9

[0065] 図1は、本発明に係る窒化物半導体基板の 断面図である。結晶成長用基板としてサファイア。面 ((0001) 面) を用い、この上にAlGaN域を成長さ せた構成となっている。この基板の作製方はについて設 明する。まず、ヤフィイン基板11上に、500℃で、約3 0m域厚のGaNからなる低温パッファー暦12を形成す る。その後、1010℃に昇温して、Al7%を含むAlo。0.08 の.0.050、98NからなるAlGaN質13を約1m成長させたのち、Al の.0.050、98NからなるAlGaN質14を100μm成長する。 これにより、クラックのない高品質のAlGaN質14を得る。 [0066] Alo. o16ao saNからなるAlGaN屋13 (第一の単結晶層)では、サファイアとの格子不整合が緩和されて、ほぼ歪みのないAlGaN層が成長しているが、Al組成が比較的高く、また欠協密度も高い。このため、この層を1 u m以上の膜厚に成長させるとクラックが生じることが確認されている。

[0067] そこで、本文施形像では、この上にAI激度の低いAIGaN図14 (第二の単結晶層)を成長させている。これによりクラックを発生させることなく100μm以上の厚膜成長が可能としている。第一のAIGaN層とはこのAIGaN層には圧縮重みががかり、クラックを発生させないで厚膜結晶を成長することが可能となる。

【0068】このAlGaN層14上に茶子倒域を構成する 窒化物半導体隔を形成することにより、本発明の変化物 半導体素子を作製することができる。この窒化物半導体 素子においては、菜子倒域を構成する窒化物半導体 超は、サフィイア基板11ではなく、主としてAlGaN環 14による 14による は外部形張係数の差に応じた歪みが遊損されることとな る。これは、AlGaN層13(第一の単結晶層)が多くの が高れな名含む 精温欠陥を含む 精温欠陥を含む は近れることとな る。これは、AlGaN層13(第一の単結晶層)が多くの が3といることとな ものは ものは が3となっていること、および、AlGaN 13とAlGaN層14の界面にミスフィット転位が発生す ることにより、基板の 実縛力がAlGaN層13中で緩和さ れるためである。

[0069] ここで、AIGaN図13が多くの結晶欠陥を含むのは、GaNからなる低温パッファー図12との格子 応数の相違に起因するものであり、AIGaN図13とAIGaN 図14の界面にミスフィット転位が発生するのは、両函 の格子定数の相違および両風の厚みが一定以上となって いることに起因するものである。

[0070] 本実施形態に係る窒化物半導体基板は、Al GaN図13 (第一の単結晶図)のAl組成をx、厚みをdi(μm)とし、AlGaN図14 (第二の単結晶図)のAl組成をy、「年みをdi(μm)としたときに、

(x-y) × d1× d1 = 2
 (x=0.07、y=0.05、d1=1 (μm)、d1=100 (μm))となっている。このため、第一の単結晶階と第二の単結晶層の間の界面に、転位伝統抑制機能はよび選みエネルギー関核機能が発現する程度にミスフィット転位を発生させることができる。

10

図1を参照して説明する。

【実施例】<実施例1>本実施例では、図1に示す構造の窒化物半導体基板を作製した。基板結晶として、(00の1)面のサファイア基板を用いて、111舷原料に有機金属を用いる有機金属化学気相成長法(MOVPE)および、垣化ガリウム(GaCl)を用いるハメデカイドVPE法(HVPE)によってAlGaN層を形成した。

[0072] サファイア基板11 ((0001) 面) を常圧MVPE装置にセットし、bdカンとNbガスを供給しながら108 OCの温度に昇温し表面の熱処理を行う。その後、500℃の温度に降温して、トリメチルガリウム (TMG) とアンモニア (Nkh) ガスをそれぞれ10 mol/min、5000co/minで供給し、原戸40mのGaNからなる低温ペッファー層 1 2を形成する。

【0073】次に、Nhbガスとbガスを供給しながら上記結晶を1050℃の温度に昇温する。温度が安定してから、トリメチルアルミ=ウム(TMA)、TMGをそれぞれ9 mmol/minで供給し、既耳1μmのAlo.16a。。Nからなる第一のAlGaN13を形成する。次に、TMA、および、TMGの供給を停止して、Nhbガス、bbガスおよび、NAの対なら降温する。

安定した後、GaClを発生させるためにGa上にHClを20co/ 【0074】次に、上記結晶を塩化水蒸(HCI)/ガリウ る。 hz キャリアガス中で昇温し、600℃付近でNhb ガスを **並は、それぞれ4000cc/min、1000cc/minである。温度が** れた。このエッチピットの分布は、表面全体に亘って均 供給し、1070℃の温度に昇温する。hv ガスとNHs ガス流 一であった。また、本手法で成長した第二のAlGaN層表 h)、水森(h)を原料とするHVPE装置にセットす 後、240℃のりん酸・硫酸混合液で欠陥に対応するエッ チピットを謳べたところ、J×106 / cm² と低い値が得ら ム (Ga) 、塩化アルミニウム(AICIa)、アンモニア (N minを供給し、さらにAIの原料として、AIGI3を揮発さ る。 AI組成は、X線回折測定から0.04であった。成長 せ、1co/minで供給し、第二のAlGaN層14の成長を行 う。5時間の成長で300μmの厚さのAlGaN層が成長す 面には全くクラックが観察されなかった。

mintaエッノアンがMARACAMa.no.c.。 【0075】本実施例では、AI超成として、第一のAlGa N層のAI組成として0.1、第二のAIGaN層のAI組成として 50 0.04の例を示したが、第二のAIGaN層のAI組成が、第一

OAIGANGのAl組成より小さければ、同様な効果が得られる。さらに、n型、またはp型の不純物を添加しても同様な効果が得られる。

【0076】<実施例25本実施例では、図2に示す構造の窒化物半導体基板を作製した。実施例1と同様に基板結晶として、サファイア基板を用いて、川1成原料に有機金属を指しる名機金属化学気相成長法(MOVPE)はよび、塩化ガリウム(GaCl)を用いるハイドライドWPE 法(HVPE)によってAlGaN省を形成した。本実施例では、ラテラルオーバー成長によって第二のAlGaN級を形成した。本実施例では、ラテラルオーバー成長によって第二のAlGaN級を形成

[0077] サファイア基板 (0001) 面11を常圧MOVPE 装型にセットし、地ガスとNs ガスを供給しながら1080℃の温度に昇進し表面の熱処理を行う。その後、500℃の温度に降温して、トリメチルガリウム (TMG) とアンモニア (NMb) ガスをそれぞれ10μmol/min、5000cc/minで供給し、欧耳40mmoGaNからなる低温バッファー居 12を形成する。

【0078】次に、Nh ガスとh ガスを供給しながら上記結晶を1050℃の温度に昇温する。温度が安定してから、トリメチルアルミニウム(TMA)、TNGをそれぞれ9mol/min、80μmol/minで供給し、Alo.1Gao.1Mからなる談算1μmの第一のAlGaN資13を形成する。次に、TMA、および、TMGの供給を停止して、Nh ガス、h ガスおよびh ガスを供給しながら降温する。

[0079] この成長結晶を装置から取り出し、第一のAlGaN資13上に、0.5μmの厚さのSlの膜を形成し、フォトリングラフィー法とウェットエッチングによりストライブ状のマスク 2.1を形成する。マスク幅、および開口部値は、それぞれ2μm、及び1μmである。

このエッチピットの分布は、表面全体に亘って均一であ 水素 (h)を原料とするHVPE装置にセットする。 比キャ う。この成長では、関ロ部から成長が始まり、関ロ部に ピーク測定から0.04であることがわかった。 成長後、24 リアガス中で昇温し、600℃付近でNHs ガスを供給し、上 **甘は、それぞれ4000cc/min、1000cc/minである。温度が** 安定した後、GaClを発生させるためにGa上にHClを20cc/ 坦な表面を有するAlGaN層22が形成される。5時間の成 【0080】上記結晶を塩化水浆 (HCI) /ガリウム (G 記結晶を1070℃の温度に昇温する。hv ガスとNhs ガス流 マスク21上にラテラル成長が進み、隣接する関ロ部か ら成長したAIGaNファセット同士が合体する。その後平 長で250 mの厚さのAlGaNG22が成長した。 Al組成 は、X線回折測定、および表面のフォトルミネッセンス 0℃のりん酸・硫酸混合液で欠陥に対応するエッチピッ せ、1cc/minで供給し、第二のAlGaNM22の成長を行 minを供給し、さらにAIの原料として、AICIsを揮発さ AlGaNのファセットが形成される。成長時間とともに、 トを調べたところ、5×10e/cm²と低い値が得られた。 a)、塩化アルミニウム(AICIs)、アンモニア(NHb)

り、従来のELO成長に見られたマスクバターンに起因する分布は収録されなかった。また、本手法で成長した第二のAlGaN屋表面には全くクラックが収録されなかっ

特別2001-308464

— JOANUGANMAXEIN-LISE (ソフツア) PUMAS CATUGATO た。

「0081] 本実施例では、Al組成として、第一のAlGa N層のAl組成として 0.1、第一のAlGaN層のAl組成として 0.04の例を示したが、第二のAlGaN層のAl組成が、第一のAlGaN層のAl組成が、第一のAlGaN層のAl組成が、第一のAlGaN層のAl組成といます。 第二のAlGaN層のAl組成が、第一のAlGaN層のAl組成は、10世で 1. 第二のAlGaN層のAl組成が、10世で 1. 第二のAlGaN層のAl組成が、10世で 1. 第一のAlGaN層のAl組成として 1. 11 で 2. さらに、 11 型、または 12 型の不純力を添加して 5. 11 で 2. さらに、 11 型、または 11 型の不純力を添加して 5. 11 で 2. 2 に 11 で 2. 2 に 11 型、または 11 型 2. 2 に 11 型 3. 2 に 1

同様な効果が得られる。

[0082] <実施例3>本実施例では、図3に示す構造の窒化物半導体基板を作製した。実施例2と同様に、基板結晶としてサファイア基板を用いて、III、原原料に有機金属を用いる有機金属化学気相成長法 (MOVPE) および、塩化ガリウム (GaCl)を用いるハイドライドPE法 (HVPE)によってAlGaN屋を形成した。本実施例では、第一のAlGaN屋上に違い。GaN层を形成し、その上にラテラルオーバー成長によって第二のAlGaN屋を形成し、その上にラテラルオーバー成長によって第二のAlGaN屋を形成す

[0083] サファイア基板11 (0001) 面) を常圧MO VPE装置にセットし、地ガスとNtガスを供給しながら1080°Cの温度に昇温し表面の熱処理を行う。その後、500°Cの温度に降温して、トリメチルガリウム (TMG) とアンモニア (Mh3) ガスをそれぞれ10 mの1/min、5000co/minで供給し、膜厚40mの6aNからなる低温ペッファー層 12を形成する。

【0084】次に、Nhbガスとbガスを供給しながら上記結晶を1050℃の温度に昇温する。温度が安定してから、トリメチルアルミニウム(TMA)、TMGをそれぞれ9μmo/minで供給し、Alo.1Gao.8Nからなる隊早1μmの第一のAlGaNは13を形成する。この成長が終了後、TMAの供給を停止して、GaNG 31のみを50mの厚さに成長させた。その後TMGの供給を停止して、Nbガス、HガスおよびMb ガスを供給しながら降温する。

[0085]この成長結晶を装置から取り出し、第一のAlGaN屋13上に、0.5μmの厚さのSiの膜を形成し、フォトリングラフィー法とウェットエッチングによりストライブ状のマスク21を形成する。マスク幅、および開口前幅は、それぞれ2μm、及び1μmである。

40 [0086] 上記結晶を塩化水素 (HCI) / ガリウム (G a)、塩化アルミニウム(AICI3)、アンモニア (NH3)、水素 (th)を原料とするHVPE装置にセットする。 bキキリアガス中で昇退し、600℃付近でMbガスを供給し、上記結晶を1070℃の湿度に昇湿する。 btガスとNH3 ガス淀出は、それぞれ4000cc/min、1000cc/minである。 逗度が安定した後、GaClを発生させるためにGa上にHClを20cc/minを供給し、さらにAIO原料として、AICI3を揮発させ、Icc/minで供給し、第二のAIGaN図32の成長を行う。この成長では、関口部から成長が始まり、関口部にあったの成長では、関口部から成長が始まり、関口部にあったの成長では、関口部から成長が始まり、関口部に

マスク21 上にラテラル成長が進み、隣接する関ロ部か ら成長したAlGaNファセット同士が合体する。その後平 坦な表面を有するAlGaNG32が形成される。5時間の成 は、X線回折湖定、および装面のフォトルミネッセンス 及で250 mmの厚さのAlGaN層32が成長した。Al組成 ピーク選行から0.04であることがわかった。

グカープの半値幅を調べたところ、1.2分と非常に狭 **陥に対応するコッチピットを諡べたところ、1×106/c** m²と低い値が得られた。このエッチピットの分布は、表 マスクパターンに起因する分布は観察されなかった。ま 【0087】成長後、240°Cのりん酸・硫酸混合液で欠 面全体に亘って均一であり、従来のELO成長に見られた た結晶性を評価するために二結晶法によるX線ロッキン 本手法で成長した第二のAIGaN層表面には全くクラック く、非常に結晶性に優れていることがわかった。また、

して、ニッケル (Ni) /金 (An) のp型電極91を

01

【0088】本実施例では、AI組成として、第一のAIGa のAlGaN層のAl組成より小さければ、同様な効果が得ら N層のAI組成として0.1、第一のAlGaN層のAI組成として 0.04の例を示したが、第二のAIGaN層のAI組成が、第一 れる。さらに、n型、またはp型の不純物を添加しても 同様な効果が得られる。 【0089】 <実施例6>本実施例は、サファイア基板 上にAIGaN層を形成した後、その上に半導体レーザを構 成する各半導体層を形成した例を示すものである。

同様にSiがn型不純物として添加された第二のAlo.o4Ga を積層して形成された窒化ガリウム系レーザの概略断面 バッファー層12を介して、珪素 (Si) がn型不純物と o.oeN層 (膜厚300 m) 82とを形成し、その基板上に、有 機金属化学気相成長法(MOVPE)を用いて半導体層 して添加された第一のAlo. 1Gao. 9N層 (膜厚 1m) 81と、 [0090] 図4は、サファイア 基板11((0001) 面) 上に、実施例1と同様の方法により、GaNからなる低温 図である。

30

成しレーザー構造を作数した。 p型GaNコンタクト層 **量子井戸層と5nmの厚さのアンドープIno.05Gao.95N** 障壁層からなる3周期の多重量子井戸構造活性層85、マ 0.2Gao.8N層86、Mgを添加した0. 1μmの厚さのp 型GaN光ガイド層87、Mgを添加した0.4μmの厚 O. 5μmの厚さのp型GaNコンタクト層89を順次形 添加した0.4m の厚さのn型Alo.1sGao.8sNクラッド層8 【0091】GaN系半導体レーザ構造は、図4で示し 3、Siを添加した0.1 mの厚さのn型GaN光ガ イド隔84、2、5 n m の 耳さのアンドープ lno.26ao.8 N グネシウム (Mg) を添加した20nmの厚さのp型Al さのp型Alo.15Gao.85Nクラッド層88、Mgを添加した た第二のAlGaN層まで成長した基板をMOCVD装置に る。650℃の温度からNH3ガス雰囲気にする。Siを セットし、水素雰囲気で成長温度1050℃に昇温す

し、成長装置より取り出す。2.5nmの厚さのアンド プIno. os Gao. os N障壁層からなる多重量子井戸構造活性 ープlro. 26ao. 8N量子井戸層と5n mの厚さのアンドー **悩85は、780℃の温度で形成した。**

/アルミニウム (AI) のn型電極92を形成し、p型の GaN層89上には電流狭搾のためにSi0s膜90を形成 [0092]次に、レーザー構造を形成した結晶を研磨 8 1、第二のAlGaN層 8 2 の一部を含んで 5 0 μ m 程度 器にセットし、サファイア基板11から第一のAlGaN層 研磨する。韓出したAlGaN層82面には、チタン (Ti)

【0093】上記構成の半導体レーザを構成する各半導 た、歩留まりが良好で、製造安定性に優れており、閾値 電流密度3kA/cm2、関値電圧5Vで室温連続発振が得られ 体層は、結晶性が良好であり、欠陥も少なかった。ま

ザー構造を作製する前に、サファイア基板11から第一 のAlGaN層 81、第二のAlGaN層 82の一部を研磨しても 造形成してから、サファイア 基板11から第一のAlGaN 【0094】本実施例では、AlGaN層82上にレーザー構 層81、第二のAlGaN層82の一部を研磨したが、レー 同様な効果が得られる。 20

た構成としている。このため、素子領域を構成する窒化 物半導体層の歪みを顕著に低減できる。また、第二の単 **結晶層の表面転移密度が低いため、欠陥の少ない素子領** 【発明の効果】以上説明したように本発明の窒化物半導 体素子は、面内平均格子定数 a の第一の単結晶層と、こ の上に形成された窒化物半導体からなる面内平均格子定 からなる歪み緩和領域を備え、この上に素子領域を設け 数り(5>a)の脳厚5μm以上の第二の単結晶層と、 **或を実現することができる。**

ーザに適用する場合、クラッド層のA1組成を高く、膜 ができる。また、電子茶子においては、高周波特性の改 【0096】このため、発光茶子においては茶子寿命を 大幅に改善できる等の利点が得られ、さらに、半導体レ **享を厚くすることができ、光閉じ込め率を改善すること** 善や基板への電子温れの抑制が図られる。

法によれば、第一および第二の単結晶層を含む歪み緩和 【0097】また、本発明の窒化物半導体結晶の作製方 領域を好適に形成することができる。 40

場合、歪みや欠陥が顕著に低減され、従来にない高い性 [0098] さらに本発明の窒化物半導体基板は、表面 欠陥密度が低く、かつ、AIGaN層を一定以上含む構 **成となっているため、この基板上に添子領域を形成した 恋の茶子を実現することが可能となる。**

+

20

89を形成した後は、HN3ガス雰囲気で常温まで冷却

【図1】 本発明に係る窒化物半導体基板の断面図であ

(12)

特開2001-308464

23 【図2】本発明に係る窒化物半導体基板の断面図であ

Alo. 06Gao. 94Nクラッド層

GaN图

AIGaN层

【図3】本発明に係る窒化物半導体基板の断面図であ

32

n型Alo.1sGao.8sNクラッド層 Alo. 04 Gao. 96 N/3 Alo. 1 Gao. 9N層 8 2 83 8 [図4] 本発明に係る窒化物半導体レーザの断面図であ

多重量子井戸構造活性層 n型GaN光ガイドM 8 4 8 5 【図5】本発明に係る窒化物半導体レーザの断面図であ

12 低温パッファー層

1 4 AIGaN函

22 AlGaN層 21 77/

3 AIGaN

11 サファイア基板

[符号の説明]

p型Alo. 2 Gao. 8 N屆

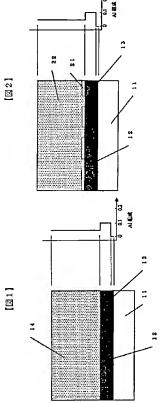
9 8

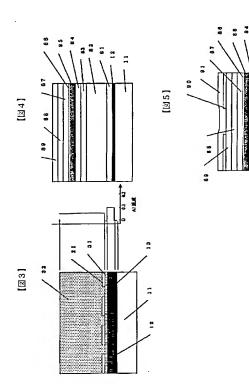
p型GaNコンタクト届 8 9

Sioz 膜 9 0

p型電極

n型電極





レロントページの湾や

(12) 発明者 松本 良成 東京都港区芝五丁目7沓1号 日本電気株式会社内

F ターム (参考) 46077 AA03 BE11 DB08 EF03 5F045 AA04 AB14 AB17 AC03 AC08 AC12 AC13 AF09 BB12 CA09 DA53 DA57 DB02 5F073 AA45 AA55 AA74 CA07 CB07 CB10 CB22 DA04 DA05 EA28 EA29